

**МЕТОДЫ И ПРИБОРЫ КОНТРОЛЯ И ДИАГНОСТИКИ МАТЕРИАЛОВ, ИЗДЕЛИЙ, ВЕЩЕСТВ И
ПРИРОДНОЙ СРЕДЫ/METHODS AND DEVICES FOR CONTROL AND DIAGNOSTICS OF MATERIALS,
PRODUCTS, SUBSTANCES AND THE NATURAL ENVIRONMENT**

DOI: <https://doi.org/10.60797/IRJ.2026.164.95>

ПРОВЕДЕНИЕ ПОЛЕВЫХ ИСПЫТАНИЙ ПРИБОРА ДИСТАНЦИОННОГО ОБНАРУЖЕНИЯ

Научная статья

Мельник В.В.^{1,*}, Томшин Е.А.², Костюковский С.Р.³, Шувариков Д.В.⁴

¹ ORCID : 0009-0009-1533-3565;

² ORCID : 0009-0001-0831-5205;

³ ORCID : 0009-0006-3164-0731;

⁴ ORCID : 0009-0003-7291-3124;

^{1, 2} Российский государственный университет имени А.Н. Косыгина, Москва, Российская Федерация

^{3, 4} Научно-технологический центр уникального приборостроения Российской академии наук, Москва, Российская Федерация

* Корреспондирующий автор (aisrpt2025[at]mail.ru)

Аннотация

Введение. Статья посвящена вопросам эффективности поиска и спасания людей под завалами с помощью применения бесконтактных методов обнаружения. Цель проведенного исследования — фиксация результатов полевых экспериментов по практическому использованию нового контрастометра «Искатель», разработанного НТЦ УП РАН.

Материалы и методы. Основной принцип работы прибора — определение разности температуры окружающей фоновой среды и объекта поиска. Полевые эксперименты были проведены в 2025 г. на территории Калужской области. Методика заключалась в организации 11 площадок, моделирующих условия поиска. Способ обнаружения различных объектов с помощью контрастометра на основе сочетания спектрального и пирометрического методов применен впервые. Для оценки результатов использованы эмпирический и сравнительный методы.

Результаты исследования. С помощью прибора получены значения среднего спектрально-энергетического контраста почв для каждой экспериментальной площадки. С помощью анализа спектральных измерений и анализа контрастности температуры почвенного покрова выявлены все объекты поиска, в том числе на участках, имитирующих завалы. Установлено, что контрастометр определяет наличие объектов. Показано, что контрастометр не требует калибровки, эффективно применяем в разных средах.

Обсуждение. Использование контрастометра дополняет индивидуальные средства экипировки спасателя легким, надежным и эффективным прибором поиска различных объектов. Проведенный эксперимент вводит в научный и практический круг инструмент дистанционной диагностики, значительно сокращающий время поиска, точно определяющий локацию объекта, а также не требующий деформации завала, которая может привести к травматизации или гибели людей, находящихся под ним.

Заключение. Перспективными направлениями дальнейших исследований и разработок могут быть развитие системы визуализации объектов под завалами, а также применение контрастометров для БПЛА для дистанционного выявления объектов (включая труднодоступные условия).

Ключевые слова: пирометр, контрастометр, поисково-спасательные работы, поиск людей под завалами, эксперимент.

CONDUCTING FIELD TESTS OF A REMOTE DETECTION DEVICE

Research article

Melnik V.V.^{1,*}, Tomshin E.A.², Kostyukovsky S.R.³, Shuvarikov D.V.⁴

¹ ORCID : 0009-0009-1533-3565;

² ORCID : 0009-0001-0831-5205;

³ ORCID : 0009-0006-3164-0731;

⁴ ORCID : 0009-0003-7291-3124;

^{1, 2} Kosygin Russian State University, Moscow, Russian Federation

^{3, 4} Scientific and Technological Centre of Unique Instrumentation of the Russian Academy of Sciences, Moscow, Russian Federation

* Corresponding author (aisrpt2025[at]mail.ru)

Abstract

Introduction. The article is devoted to the effectiveness of the search and rescue of people under the rubble using contactless methods of disclosure (spectral analysis in combination with the pyrometric measurement method). The purpose of the study is to record the results of field experiments on the use of a contrast meter developed by the Scientific and Technical Center for Unique Instrument Engineering of the Russian Academy of Sciences (hereinafter STC UP RAS).

Materials and methods. As the name of the device implies, the main principle of its operation is to determine the contrast between the ambient temperature of the background environment and the search object, in particular, a person. Field experiments were conducted in 2025 in the Kaluga Region. The experimental methodology consisted of the organization of

eleven different sites that simulate the conditions of blockages and the placement of objects. A method for detecting various objects using a contrast meter based on a combination of spectral and pyrometric methods has been applied for the first time. Empirical and comparison methods were used to evaluate the results.

Research results. Using the device, the average spectral energy contrast values of soils were obtained for each experimental site. By analyzing spectral measurements and soil cover temperature contrast, all search objects were identified, including those in areas simulating debris. It was established that the contrast meter determines the presence of objects. It was shown that the contrast meter does not require calibration and can be effectively used in different environments.

Discussion. The use of a contrast meter adds to the individual equipment of a rescuer with a lightweight, reliable, and effective device for searching for various objects. The experiment introduces a remote diagnostic tool into the scientific and practical sphere that significantly reduces search time, accurately determines the location of an object, and does not require the deformation of debris, which can lead to injury or death of people trapped underneath.

Conclusion. Promising areas for further research and development include the development of a system for visualising objects under rubble, as well as the use of contrast meters for UAVs for remote detection of objects (including in hard-to-reach conditions).

Keywords: pyrometer, contrast meter, search and rescue operations, search for people under rubble, experiment.

Введение

Одной из основных проблем при проведении поисково-спасательных работ под завалами является необходимость минимизации воздействия на сам завал. Спасатели вынуждены в стрессовой обстановке и в режиме ограниченного времени учитывать не только структуру завала, но и возможное наличие людей под ним. Разборка завалов с помощью тяжелой техники может вызвать обрушение дополнительных слоев и ухудшить условия для пострадавших. Поэтому важно разработать системный подход к поиску и спасению, который позволяет избежать указанные типы рисков [1].

Для эффективного обнаружения людей или объектов под завалами применяют различные технологии, позволяющие проводить мониторинг и оценку ситуации без непосредственного вмешательства (дистанционно, бесконтактно). Например, использование доплеровских радаров [2], пирометрия [3] — помогает выявить тепловые сигналы от человеческого тела, а акустические датчики [4] — уловить звуки, исходящие от пострадавших. Эти технологии значительно повышают шансы на успешное спасение, позволяя оперативно определить местоположение людей и разработать план действий [5], [6].

На данный момент имеются немногочисленные исследования, посвящённые применению инфракрасных интегральных пирометрических систем для обнаружения объектов, скрытых от наблюдателя пламенем и дымовой завесой: например, работы по изучению объектов, наблюдаемых сквозь пламя [7], выявлению очага пожара сквозь дымовую завесу [8], [9]. Отдельными зарубежными учеными отмечалось, что инфракрасный пирометр может точно измерять температуру поверхности в условиях пожара, но требует корректировки показаний из-за поглощения излучения водяным паром [10].

Имеются также исследования, посвящённые регистрации температурного контраста объектов, скрытых за твёрдой оптически непрозрачной преградой (бетон, земля и пр.): от ранних работ [11] по применению инфракрасных пирометров, до формулирования методов обнаружения и локализации утечек газа применительно к конечным контрольно-измерительным станциям в промышленности [12], [13].

Тем не менее во всех имеющихся исследованиях рассматривается узконаправленная задача контроля утечки газа или жидкости, обладающей значительным температурным контрастом с окружающей средой. Практически отсутствуют исследования, посвящённые поиску твердотельных объектов, скрытых за оптически непрозрачной преградой, с незначительным температурным контрастом.

Научная новизна текущего исследования заключается в разработке нового универсального бесконтактного метода поиска скрытых под завалами металлических, неметаллических и биологических объектов, за счёт объединения пирометрического и спектрального методов мониторинга.

Цель данной статьи — демонстрация результатов применения одного из эффективных бесконтактных методов для обнаружения различных объектов под завалами. Основные задачи статьи: описание нового переносного прибора, использующего бесконтактный метод, обоснование его применимости для данного вида спасательных работ.

Объект исследования. Разработки ученых Научно-технического центра Уникального приборостроения Российской академии наук (далее НТЦ УП РАН) — хорошо известны спасателям и экологам. Среди них бесконтактные анализаторы вредных веществ, дистанционные определители концентрации, тепловизоры различного назначения и многие другие уникальные приборы и приборно-аппаратные комплексы. Объект исследования в данном случае — компактный, переносной контрастометр (прибор на основе сочетания технологий бесконтактного измерения температуры и определения спектра). Данный опытный образец представляет собой совокупность оптической системы и датчиков света, помогающих определять поверхностную температуру исследуемых объектов. Дополнительно имеется лазерный целеуказатель (видимый луч красного цвета), показывающий направление измерений.

Внешне прибор представляет собой компактное переносное устройство в пластиковом корпусе с небольшим экраном для визуализации выявленных контрастно-температурных областей (рис. 1).



Рисунок 1 - Внешний вид контрастометра «Искатель»
DOI: <https://doi.org/10.60797/IRJ.2026.164.95.1>

Благодаря своему малому весу (700 г), небольшим габаритным размерам (214x186x59), готовности к работе без источников постоянного тока (используются стандартные батарейки), а также удобной форме с минимумом настраиваемых деталей, прибор пригоден для применения в полевых условиях, в том числе в качестве элемента индивидуального снаряжения спасателя (рис. 2).



Рисунок 2 - Использование контрастометра «Искатель» в полевом эксперименте
DOI: <https://doi.org/10.60797/IRJ.2026.164.95.2>

Примечание: на фото Д.В. Шувариков

На момент начала проведения полевых экспериментов, для данного опытного образца заявлены следующие технические характеристики: широкий диапазон рабочих температур (-20...+50 °C), чувствительность к величине измеряемого контраста (до $\pm 0,2$ °C) при значениях величины контраста от 0 до 400 °C, длина волны от 1,0 до 15,0 мкм, показатель визирования 24. Перед проведением эксперимента предполагалось, что прибор с подобными свойствами способен бесконтактно определить местоположение под завалом объектов из различных материалов (например, металлические, стеклянные, пластиковые, биологические) на глубине до 0,5 м.

Методы исследования

При работе с прибором не требуется определение точной истинной температуры объекта, скрытого под завалом. Нам требуется лишь определить степень контраста (отсюда наименование прибора — контрастометр). Такой подход позволяет улавливать даже самые незначительные колебания интенсивности излучения от объектов обнаружения, визуализируя на экране общие очертания найденного объекта (термограмму).

В отличие от большинства дистанционных измерителей температуры (пиromетров), данный контрастометр спроектирован специально для поиска и спасения под завалами в условиях низкотемпературного излучения ($C_2/\lambda T > 1$). Поэтому здесь было важно применение закона смещения Вина (1) (табл. 1), который устанавливает обратную зависимость температуры объекта от его видимого цвета, то есть длины волны.

В качестве величины измерения в контрастометре используется понятие среднего спектрально-энергетического контраста (СЭК), понимаемого как разница между равновесным (тепловым) излучением тела и излучением окружающего его фона [14]. Для определения интенсивности излучения [15] исследуемых объектов расчеты основаны на формуле Планка (2), для оценки соотношения истинной и яркостной температур [16] — законы Кирхгофа и Планка (3), а параметры так называемого абсолютно черного тела [17] и связанные с ним сравнительные оценки черноты исследуемых объектов рассчитывались на основании закона Стефана-Больцмана (4) (табл. 1).

Таблица 1 - Физические закономерности, лежащие в основе работы прибора
DOI: <https://doi.org/10.60797/IRJ.2026.164.95.3>

№	Физические основы	Формула	Пояснения к формуле
1	Закон смещения Вина	$\lambda_{max} = \frac{ch}{k\alpha} \cdot \frac{1}{T_a}, (1)$	где T_a — цветовая (яркостная) температура тела; c — скорость света в вакууме; k — постоянная Больцмана; h — постоянная Планка; $\alpha \approx 4,965$ — коэффициент.
2	Постоянная Планка	$I = \frac{\varepsilon C_1 \lambda^{-5}}{e^{\frac{C_2}{\lambda T}} - 1}, (2)$	где $C_1 = 37418 \text{ Вт}\cdot\text{мкм}^4/\text{см}^2$; $C_2 = 14388 \text{ мкм}\cdot\text{К}$; λ — длина волны, мкм; I — интенсивность излучения, $\text{Вт}/\text{см}^2$; ε — степень черноты объекта; T — температура, $^{\circ}\text{C}$.
3	Законы теплового излучения Кирхгофа и Планка	$\frac{T_a}{T} = 1 + T_a \frac{\lambda k}{hc} \ln \left(\frac{e^{\frac{hc}{\lambda k T_a}}}{e^{\frac{hc}{\lambda k T}}} \right), (3)$	где T_a — яркостная температура; k — постоянная Больцмана; T — истинная температура; c — скорость света; λ — длина волны; h — постоянная Планка.
4	Закон Стефана-Больцмана о полном количестве энергии, излучаемой поверхностью абсолютно черного тела	$E_0 = \varepsilon_0 \left(\frac{T}{100} \right)^4, (4)$	где ε_0 — коэффициент излучения абсолютно чёрного тела, равный 5,67 $\text{Вт}/(\text{м}^2\cdot\text{К})$; T — температура.

Для моделирования условий завала оказалось достаточно естественного природного рельефа данной местности (пригорок, овраг), изобилующей пальм сухостоем, валежником, строительным мусором, рыхлыми пластами почвы, россыпями щебня и т.п. Объектами обнаружения являлись в моделируемой ситуации следующие предметы: металлические трубы диаметром 5 см, длиной 0,45–0,55 м; пластиковая мина-лопесток (муляж); керамические осколки различных фракций, вес 0,2 кг; неразложившиеся биологические фрагменты живых организмов размером от 50 мм, резиновая грелка с тёплой водой (30–40 °C). Последний объект был применен для моделирования обнаружения теплокровного живого организма (животные, пострадавшие при завале люди).

Результаты и обсуждение

Воспроизведение ситуации завала и обнаружения объектов с помощью контрастометра проводилось посредством серии полевых испытаний прибора в апреле 2025 г. Территорией испытаний стал лесной массив в Калужской области, а именно Верховский лес, который находится в сельском поселении Верховье, Жуковского района (координаты: 55.136081, 36.797807). Массив представляет собой смешанный лес на территории 4 га, рельеф местности характеризуется значительными перепадами (холмы и овраги), имеются завалы из деревьев, территория прилегает к искусственной запруде и реке.

Полагаясь на ранее опробованные методики создания учебных и экспериментальных полигонов [18], на территории эксперимента были сформированы несколько участков с имитацией завалов, а также несколько контрольных участков для проверки работоспособности прибора на поверхности почвы. Прибор использовался оператором в ручном режиме под произвольным углом к поверхности, на расстоянии, не превышающем 1,2 м. (табл. 2).

Таблица 2 - Результаты проведения эксперимента

DOI: <https://doi.org/10.60797/IRJ.2026.164.95.4>

№	Участок	Действия	Результат
1	Участок 1. (контрольный)	Тестируемая область проверяется контрастометром с целью оценки среднего спектрально-энергетического контраста (далее — СЭК) почвы. Нагромождение пластов земли и ветоши, нет объектов для поиска.	Получен средний СЭК почвы. Прибор не выявил предметов на выделенной контрольной площадке.
2	Участок 2. Обнаружение металлических объектов на поверхности земли (чистый эксперимент)	Размещение металлического объекта (на поверхности земли). Оценка СЭК объекта и почвы.	Получен средний СЭК почвы (идентичен на участке 1) Получен СЭК металлического объекта.
3	Участок 3. Обнаружение металлических объектов под землёй (чистый эксперимент)	Несколько металлических объектов закапывается под землю (глубина 0,3 м, 0,5 м, а также дополнительно на глубину, превышающую характеристики обнаружения для данного прибора 1,0 м) Оценка СЭК объекта и почвы.	Получен средний СЭК почвы (идентичен на участке 1) Получен СЭК металлических объектов на всех трех уровнях глубины, включая 1,0 м.
4	Участок 4. Обнаружение металлических объектов во влажной почве (заболоченный участок).	Несколько металлических объектов закапывается под землю (глубина 0,3 м, 0,5 м, а также дополнительно на глубину, превышающую характеристики обнаружения для данного прибора 1,0 м) Оценка СЭК объекта и почвы.	Получен средний СЭК почвы. Получен СЭК металлических объектов на двух уровнях глубины (до 0,5 м), характеристики контрастности термограммы выражены слабее.
5	Участок 5. Обнаружение металлических объектов под завалом.	Металлические объекты помещаются под слоями прелой листвы, свежего дёрна, сухой травы, камней, грунта. Оценка СЭК объекта и покрытий.	Получен средний СЭК покрытий. Получен СЭК металлических объектов, который позволяет обнаружить место положения объектов визуально.
6	Участок 6. Обнаружение неметаллических объектов на поверхности земли (чистый эксперимент)	Действия, описанные в п. 2, воспроизводятся аналогично для образцов: – органических остатков;	Получен средний СЭК почвы. Получен СЭК указанных объектов.

№	Участок	Действия	Результат
		– муляжа из пластика; – керамических осколков различных фракций.	
7	Участок 7. Обнаружение неметаллических объектов под землёй (чистый эксперимент)	Действия, описанные в п.3, воспроизводятся аналогично для образцов: – органических остатков; – муляжа из пластика; – керамических осколков различных фракций.	Получен средний СЭК почвы. Получен СЭК указанных объектов, в том числе на глубине залегания 1,0 м.
8	Участок 8 Обнаружение неметаллических объектов во влажной почве (заболоченный участок)	Действия, описанные в п.4, воспроизводятся аналогично для образцов: – органических остатков; – муляжа из пластика; – керамических осколков различных фракций.	Получен средний СЭК почвы. Получен СЭК указанных объектов, максимально на глубине залегания 0,5 м.
9	Участок 9. Обнаружение неметаллических объектов под завалами	Действия, описанные в п.5, воспроизводятся аналогично для образцов: – органических остатков; – муляжа из пластика; – керамических осколков различных фракций.	Получен средний СЭК завала. Получен СЭК указанных объектов, позволяющий точно определить месторасположения в завале.
10	Участок 10. Обнаружение теплого объекта под землёй	Действия, описанные в п.2, воспроизводятся для грелки с теплой водой.	Получен средний СЭК почвы. Получен СЭК теплого объекта, позволяющий точно определить его месторасположение.
11	Участок 11. Обнаружение теплого объекта под каменистыми завалами	Теплый объект (грелка) помещается под землю на глубину 5 см и засыпается щебнем, ветошью, твердыми бытовыми отходами. Оценка СЭК объекта и завала. Высота завала не менее 1,0 м над поверхностью.	Получен средний СЭК завала. Получен СЭК теплого объекта, позволяющий точно определить его месторасположение под завалом.

Вышеприведенный анализ результатов показал, что исследуемый прибор способен быть надежным инструментом обнаружения различных объектов под завалами, земляными насыпями, в том числе во влажной среде, хотя и со значительным снижением показателей контрастирования. Будучи применен при поиске теплых (живых) биологических объектов обнаружения, контрастометр способен выявлять объекты и на глубине, вдвое превышающей расчетную (1,0 м против заявленных 0,5 м). Особенно ценно, что прибор способен работать в автономном режиме достаточно длительное время, не требует перенастройки и калибровки, позволяет визуализировать на экране примерное расположение объекта обнаружения по его термограмме.

Заключение

Более трети пострадавших под завалами могут погибнуть уже в первые сутки после начала операции по их обнаружению и спасению, в особенности если разбор завала происходит хаотично, со значительными сдвигами

пластов, а расположение людей под ними не известно, в результате чего они могут серьезно пострадать в ходе самой спасательной операции.

Исследуемый прибор РАН решает в этой связи две наиболее острых проблемы: во-первых, бесконтактное обнаружение пострадавших (без деформации структуры пластина); во-вторых, сокращение времени на обнаружение пострадавших (повысив их шансы на выживание).

Отметим также, что технические характеристики прибора подтверждены испытаниями на 11 различных площадках, а по параметру глубины обнаружения объектов уточнены в сторону увеличения (1,0 м, при нормальной влажности).

Дополнительным драйвером применения данного прибора могут стать разработки его модификации для размещения на беспилотных летательных аппаратах (дронах, квадрокоптерах), в том числе для обнаружения пострадавших в труднодоступных местах [19]. Иными словами, внедрение бесконтактных контрастометров способно значительно повысить эффективность работы спасателей, а значит спасти больше человеческих жизней.

Значимость представленных результатов состоит в том, что впервые удалось подтвердить экспериментально возможности обнаружения объектов, скрытых под землей и завалами, пассивным тепловым методом. При этом в качестве объектов рассматривался широкий спектр материалов, что открывает большие возможности применения не только в практике поисково-спасательных работ, но и в сфере энергетики, жилищно-коммунального хозяйства, нефтехимической и полимерной промышленности.

Благодарности

Авторы благодарят главного научного сотрудника НТЦ УП РАН, доктора технических наук Вагина Василия Алексеевича за предоставление возможности проведения испытаний, а также профессора кафедры энергоресурсоэффективных технологий, промышленной экологии и безопасности РГУ им. Косыгина, доктора технических наук Акатьева Владимира Андреевича за идею использования прибора в ситуации спасения под завалами.

Конфликт интересов

Не указан.

Рецензия

Фазылзянов Р.Р., Научно-производственное объединение «Государственный институт прикладной оптики», Казань Российская Федерация

DOI: <https://doi.org/10.60797/IRJ.2026.164.95.5>

Acknowledgement

The authors express their gratitude to Vagin Vasily Alekseevich, Chief Researcher at the Scientific and Technological Centre of Unique Instrumentation of the Russian Academy of Sciences, Doctor of Technical Sciences for providing the opportunity to conduct tests, as well as Professor of the Department of Energy-Efficient Technologies, Industrial Ecology, and Safety at Kosygin Russian State University, Doctor of Technical Sciences Akatiev Vladimir Andreevich for the idea of using the device in rescue situations under rubble.

Conflict of Interest

None declared.

Review

Fazilzyanov R.R., Scientific and Production Association «State Institute of Applied Optics», Kazan Russian Federation
DOI: <https://doi.org/10.60797/IRJ.2026.164.95.5>

Список литературы / References

1. Козулов К.В. К вопросу об особенностях проведения аварийно-спасательных работ / К.В. Козулов, С.Г. Аксенов // Столыпинский вестник. — 2022. — № 4 (8). — С. 4497–4503. — URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/k-voprosu-ob-osobennostyah-provedeniya-avariono-spasatelnyh-rabot> (дата обращения: 24.04.2025).
2. Юрочкин А.Г. Проблемы моделирования процессов обнаружения людей под строительными завалами в чрезвычайных ситуациях / А.Г. Юрочкин, Д.Г. Панарин // Моделирование, оптимизация и информационные технологии. — 2016. — № 3 (4). — 10 с. — URL: <https://moitvivt.ru/ru/journal/pdf?id=309> (дата обращения: 24.04.2025).
3. Пожар В.Э. Современные спектральные оптические приборы НТЦ УП РАН / В.Э. Пожар, А.А. Балашов, М.Ф. Булатов // Научное приборостроение. — 2018. — Т. 28. — № 4. — С. 49–57. — URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/sovremenennye-spektralnye-opticheskie-pribory-ntts-up-ran> (дата обращения: 07.04.2025).
4. Туров А.Т. Исследование параметров простого распределенного акустического датчика / А.Т. Туров, Ю.А. Константинов, Ф.Л. Барков [и др.] // Фотон-экспресс. — 2023. — № 6 (190). — С. 349–350. — URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/issledovanie-parametrov-prostogo-raspredelennogo-akusticheskogo-datchika> (дата обращения: 24.04.2025).
5. Малфи Х.А.М. О применении модуля системы радиолокационных сигналов при проведении поисково-спасательных работ / Х.А.М. Малфи, А.В. Мокшанцев // Пожары и чрезвычайные ситуации: предотвращение и ликвидация. — 2022. — № 4. — С. 13–21.
6. Захаренко В.А. Пирометр с видеоконтролем области измерений / В.А. Захаренко, Д.Г. Лобов, А.Г. Шкаев [и др.] // Омский научный вестник. — 2022. — № 1 (181). — С. 73–77. — URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/pirometr-s-videokontrollem-oblasti-izmerenij> (дата обращения: 24.04.2025).
7. Гарелина А.С. Математическая модель пирометра для измерения температуры пламени и объектов сквозь пламя / А.С. Гарелина, Р.А. Горбунов, К.П. Латышенко [и др.] // Научные и образовательные проблемы гражданской защиты. — 2020. — № 2 (45). — С. 98–103.
8. Горовых О.Г. Обнаружение очага пожара в задымленных помещениях с применением индивидуального поискового устройства / О.Г. Горовых, С.Н. Бардушко // Пожарная безопасность. — 2008. — № 2. — С. 100–106.

9. Елисеев Ю.Н. Экспресс-методы экспертного исследования неорганических материалов при установлении очага пожара / Ю.Н. Елисеев, И.Д. Чешко, В.Г. Плотников [и др.]. — Санкт-Петербург : Санкт-Петербургский университет Государственной противопожарной службы МЧС России, 2019. — 61 с.
10. Urbas J. Surface temperature measurement in a fire environment using an infrared pyrometer / J. Urbas, W. Parker // Fire Safety Science. — 2005. — № 8. — P. 1401–1412.
11. Костюковский С.Р. Опыт применения в ЖКХ инфракрасного термометра (пиromетра) серии «Кельвин КБ Диполь» / С.Р. Костюковский, Р.В. Николаев, В.А. Гречев [и др.] // Датчики и системы. — 2006. — № 6. — С. 49–50.
12. Jing Y.-X. Image-free infrared detection paradigm for industrial gas leaks / Y.-X. Jing, Q. Wang, Y. Liu, Y. Zhao // IEEE Transactions on Industrial Informatics. — 2026. — Vol. 22. — № 7. — P. 1–10.
13. Semitela A. Assessing leak detection and localization techniques for application in end-of-line leakage stations in the industrial sector / A. Semitela, A. Completo // Process Safety and Environmental Protection. — 2025. — Vol. 205. — 108176 p.
14. Белоусов Ю.И. Инфракрасная фотоника. Часть I. Особенности формирования и распространения ИК излучения / Ю.И. Белоусов, Е.С. Постников. — Санкт-Петербург : Университет ИТМО, 2019. — С. 71–82.
15. Кошман В.С. К вопросу поиска уравнения долговечности эпохи Планка / В.С. Кошман // Sciences of Europe. — 2020. — № 61–1. — С. 38–40. — URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/k-voprosu-poiska-uravneniya-dolgovechnosti-epohi-planika> (дата обращения: 24.04.2025).
16. Булатов К.М. Модифицированный метод спектрального отношения для дистанционного измерения распределения температур мультиспектральными видеокамерами / К.М. Булатов, П.В. Зинин, Н.А. Храмов // Компьютерная оптика. — 2025. — № 1. — С. 151–158.
17. Зенченко С.С. Особенности и результаты измерений ИК-поля от 4-щелевой диск-мишени и абсолютного черного тела в диапазоне спектра 7–14 мкм / С.С. Зенченко // Труды Крыловского государственного научного центра. — 2022. — № 4 (402). — С. 120–125. — URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/osobennosti-i-rezulatty-izmereniy-ik-polya-ot-4-schellevoy-disk-misheni-i-absolyutno-chernogo-tela-v-diapazone-spektra-7-14-mkm> (дата обращения: 04.04.2025).
18. Винокуров М.В. Разработка учебно-тренажерного полигона для формирования практических умений и навыков проведения аварийно-спасательных работ в условиях ограниченного пространства и видимости при ликвидации пожаров и чрезвычайных ситуаций, сопровождающихся обрушением строительных конструкций, разрушением инженерных и технологических коммуникаций «Сталкер» / М.В. Винокуров, И.А. Краснов, В.В. Кичайкин [и др.] // Современные проблемы гражданской защиты. — 2020. — № 4 (37). — С. 85–94.
19. Тхакохов А.А. Инновационные технологии и техника для ликвидации чрезвычайных ситуаций / А.А. Тхакохов // Международный журнал гуманитарных и естественных наук. — 2023. — № 5–4 (80). — С. 161–163. — URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/innovatsionnye-tehnologii-i-tehnika-dlya-likvidatsii-chrezvychaynyh-situatsiy> (дата обращения: 24.04.2025).

Список литературы на английском языке / References in English

1. Kozulov K.V. K voprosu ob osobennostyakh provedeniya avariyno-spasatel'nykh rabot [On the issue of the features of emergency rescue operations] / K.V. Kozulov, S.G. Aksenov // Stolypinskij vestnik [Stolypinsky Bulletin]. — 2022. — № 8. — P. 4497–4503. — URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/k-voprosu-ob-osobennostyah-provedeniya-avariyno-spasatelnyh-rabot> (accessed: 24.04.2025). [in Russian]
2. Yurochkin A.G. Problemy modelirovaniya processov obnaruzheniya lyudej pod stroitel'nymi zavalami v chrezvychajnykh situaciyakh [The problems of modeling of processes of detecting people under the rubble of the building in emergency situations] / A.G. Yurochkin, D.G. Panarin // Modelirovaniye, optimizaciya i informacionnye tekhnologii [Modeling, Optimization and Information Technology]. — 2016. — № 3 (4). — 10 p. — URL: <https://moitvvt.ru/ru/journal/pdf?id=309> (accessed: 24.04.2025). [in Russian]
3. Pozhar V.E. Sovremennye spektral'nye opticheskie pribory NTC UP RAN [Modern spectral optical devices of the Scientific Research Center of the Russian Academy of Sciences] / V.E. Pozhar, A.A. Balashov, M.F. Bulatov // Nauchnoe priborostroenie [Scientific instrumentation]. — 2018. — Vol. 28. — № 4. — P. 49–57. — URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/sovremennye-spektralnye-opticheskie-pribory-ntts-up-ran> (accessed: 07.04.2025). [in Russian]
4. Turov A.T. Issledovanie parametrov prostogo raspredelennogo akusticheskogo datchika [Investigation of the parameters of a simple distributed acoustic sensor] / A.T. Turov, Yu.A. Konstantinov, F.L. Barkov [et al.] // Foton-ekspress [Photon-express]. — 2023. — № 6 (190). — P. 349–350. — URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/issledovanie-parametrov-prostogo-raspredelennogo-akusticheskogo-datchika> (accessed: 24.04.2025). [in Russian]
5. Malfi Kh.A.M. O primenenii modulya sistemy radiolokacionnykh signalov pri provedenii poiskovo-spasatel'nykh rabot [On the use of the radar signal system module during search and rescue operations] / Kh.A.M. Malfi, A.V. Mokshantsev // Pozhary i chrezvychajnye situacii: predotvratshchenie i likvidaciya [Fires and emergencies: prevention and elimination]. — 2022. — № 4. — P. 13–21. [in Russian]
6. Zakharenko V.A. Pirometr s videokontrolem oblasti izmerenij [A pyrometer with video monitoring of the measurement area] / V.A. Zakharenko, D.G. Lobov, A.G. Shkaev [et al.] // Omskij nauchnyj vestnik [Omsk Scientific Bulletin]. — 2022. — № 1 (181). — P. 73–77. — URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/pirometr-s-videokontrolem-oblasti-izmerenij> (accessed: 24.04.2025). [in Russian]
7. Gareolina A.S. Matematicheskaya model' pirometra dlya izmereniya temperatury plameni i ob"ektorov skvoz' plamy [Mathematical model of a pyrometer for measuring the temperature of flames and objects through flames] / A.S. Gareolina, R.A. Gorbunov, K.P. Latyshenko [et al.] // Nauchnye i obrazovatel'nye problemy grazhdanskoy zashchity [Scientific and educational problems of civil protection]. — 2020. — № 2 (45). — P. 98–103. [in Russian]

8. Gorovykh O.G. Obnaruzhenie ochaga pozhara v zadymlennykh pomeshcheniyakh s primeneniem individual'nogo poiskovogo ustrojstva [Detection of a fire in smoke-filled rooms using an individual search device] / O.G. Gorovykh, S.N. Bardushko // Pozharnaya bezopasnost' [Fire safety]. — 2008. — № 2. — P. 100–106. [in Russian]
9. Eliseev Yu.N. Ekspress-metody ekspertnogo issledovaniya neorganicheskikh materialov pri ustanovlenii ochaga pozhara [Express methods of expert research of inorganic materials in the establishment of a fire source] / Yu.N. Eliseev, I.D. Cheshko, V.G. Plotnikov [et al.]. — Saint Petersburg : Saint Petersburg University of the State Fire Service of EMERCOM of Russia, 2019. — 61 p. [in Russian]
10. Urbas J. Surface temperature measurement in a fire environment using an infrared pyrometer / J. Urbas, W. Parker // Fire Safety Science. — 2005. — № 8. — P. 1401–1412.
11. Kostyukovsky S.R. Opyt primeneniya v ZhKKh infrakrasnogo termometra (pirometra) serii «Kel'ven KB Dipol'» [The experience of using an infrared thermometer (pyrometer) of the Kelvin KB Dipole series in housing and communal services] / S.R. Kostyukovsky, R.V. Nikolaev, V.A. Grachev [et al.] // Datchiki i sistemy [Sensors and Systems]. — 2006. — № 6. — P. 49–50. [in Russian]
12. Jing Y.-X. Image-free infrared detection paradigm for industrial gas leaks / Y.-X. Jing, Q. Wang, Y. Liu, Y. Zhao // IEEE Transactions on Industrial Informatics. — 2026. — Vol. 22. — № 7. — P. 1–10.
13. Semitela A. Assessing leak detection and localization techniques for application in end-of-line leakage stations in the industrial sector / A. Semitela, A. Completo // Process Safety and Environmental Protection. — 2025. — Vol. 205. — 108176 p.
14. Belousov Yu.I. Infrakrasnaya fotonika. Chast' I. Osobennosti formirovaniya i rasprostraneniya IK izlucheniya [Infrared photonics. Part I. Features of the formation and propagation of IR radiation] / Yu.I. Belousov, E.S. Postnikov. — Saint Petersburg : ITMO University, 2019. — P. 71–82. [in Russian]
15. Koshman V.S. K voprosu poiska uravneniya dolgovechnosti epokhi Planka [On the issue of finding the Planck-era longevity equation] / V.S. Koshman // Sciences of Europe. — 2020. — № 61–1. — P. 38–40. — URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/k-voprosu-poiska-uravneniya-dolgovechnosti-epohi-planka> (accessed: 24.04.2025). [in Russian]
16. Bulatov K.M. Modificirovannyj metod spektral'nogo otnosheniya dlya distacionnogo izmereniya raspredeleniya temperatur mul'tispektral'nymi videokamerami [A modified spectral ratio method for remote measurement of temperature distribution by multispectral video cameras] / K.M. Bulatov, P.V. Zinin, N.A. Khramov // Komp'yuternaya optika [Computer optics]. — 2025. — № 1. — P. 151–158. [in Russian]
17. Zenchenko S.S. Osobennosti i rezul'taty izmerenij IK-polya ot 4-shchelevoj disk-misheni i absolyutnogo chernogo tela v diapazone spektra 7-14 mkm [Features and results of measurements of the IR field from a 4-slit target disk and an absolute blackbody in the spectral range of 7-14 microns] / S.S. Zenchenko // Trudy Krylovskogo gosudarstvennogo nauchnogo centra [Proceedings of the Krylov State Scientific Center]. — 2022. — № 4 (402). — P. 120–125. — URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/osobennosti-i-rezul'taty-izmereniy-ik-polya-ot-4-schelevoy-disk-misheni-i-absolyutno-chernogo-tela-v-diapazone-spektra-7-14-mkm> (accessed: 04.04.2025). [in Russian]
18. Vinokurov M.V. Razrabotka uchebno-trenazhernogo poligona dlya formirovaniya prakticheskikh umenij i navykov provedeniya avarijno-spasatel'nykh rabot v usloviyakh ogranicennogo prostranstva i vidimosti pri likvidacii pozharov i chrezvychajnykh situacij, soprovozhdayushchikhnya obrusheniem stroitel'nykh konstrukcij, razrusheniem inzhenernykh i tekhnologicheskikh kommunikacij "Stalker" [Development of a training ground for the formation of practical skills and abilities for conducting emergency rescue operations in conditions of limited space and visibility during the elimination of fires and emergencies accompanied by the collapse of building structures, the destruction of engineering and technological communications "Stalker"] / M.V. Vinokurov, I.A. Krasnov, V.V. Kichaykin [et al.] // Sovremennye problemy grazhdanskoy zashchity [Modern problems of civil protection]. — 2020. — № 4 (37). — P. 85–94. [in Russian]
19. Tkhakokhov A.A. Innovacionnye tekhnologii i tekhnika dlya likvidacii chrezvychajnykh situacij [Innovative technologies and equipment for emergency response] / A.A. Tkhakokhov // Mezhdunarodnyj zhurnal gumanitarnykh i estestvennykh nauk [International Journal of Humanities and Natural Sciences]. — 2023. — № 5–4 (80). — P. 161–163. — URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/innovacionnye-tehnologii-i-tehnika-dlya-likvidatsii-chrezvychaynyh-situatsiy> (accessed: 24.04.2025). [in Russian]